



①9 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENTAMT

⑫ Übersetzung der
europäischen Patentschrift

⑧7 EP 0 442 985 B1

⑩ DE 690 16 774 T 2

⑤1 Int. Cl.⁶:
G 01 B 7/02
G 01 D 5/247
G 01 F 23/72
G 01 F 23/68
G 01 F 23/28

DE 690 16 774 T 2

②1	Deutsches Aktenzeichen:	690 16 774.1
⑧6	PCT-Aktenzeichen:	PCT/US90/04433
⑧6	Europäisches Aktenzeichen:	90 912 251.7
⑧7	PCT-Veröffentlichungs-Nr.:	WO 91/04457
⑧6	PCT-Anmeldetag:	8. 8. 90
⑧7	Veröffentlichungstag der PCT-Anmeldung:	4. 4. 91
⑧7	Erstveröffentlichung durch das EPA:	28. 8. 91
⑧7	Veröffentlichungstag der Patenterteilung beim EPA:	8. 2. 95
④7	Veröffentlichungstag im Patentblatt:	14. 9. 95

③0 Unionspriorität: ③2 ③3 ③1

11.09.89 US 405453

⑦3 Patentinhaber:

MTS Systems Corp., Eden Prairie, Minn., US

⑦4 Vertreter:

Splanemann & Kollegen, 80331 München

⑧4 Benannte Vertragsstaaten:

BE, CH, DE, FR, GB, IT, LI, NL, SE

⑦2 Erfinder:

TELLERMAN, Jacob, Bayside, NY 11364, US

⑤4 KOMPAKTER SIGNALVERSTÄRKENDER MAGNETORESTRIKTIVER ÜBERTRAGUNGSKOPF.

Anmerkung: Innerhalb von neun Monaten nach der Bekanntmachung des Hinweises auf die Erteilung des europäischen Patents kann jedermann beim Europäischen Patentamt gegen das erteilte europäische Patent Einspruch einlegen. Der Einspruch ist schriftlich einzureichen und zu begründen. Er gilt erst als eingelegt, wenn die Einspruchsgebühr entrichtet worden ist (Art. 99 (1) Europäisches Patentübereinkommen).

Die Übersetzung ist gemäß Artikel II § 3 Abs. 1 IntPatÜG 1991 vom Patentinhaber eingereicht worden. Sie wurde vom Deutschen Patentamt inhaltlich nicht geprüft.

DE 690 16 774 T 2

1. Gebiet der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf Vorrichtungen zur linearen Abstandmessung, die kompakte Anbringungsköpfe aufweisen und verstärkte Ausgangssignale erzeugen.

2. Beschreibung des Standes der Technik

Das dem vorliegenden Erfinder erteilte US-Patent 3,898,555 zeigt eine Vorrichtung zur linearen Abstandmessung der hierin beschriebenen Art, bei der ein Schall-Wellenleiter verwendet wird, und der Wellenleiter ist röhrenförmig, wobei durch die Mitte ein Draht verläuft. Ein Stromimpuls wird durch den Draht geschickt und ein Magnet, der angrenzend an den Wellenleiter angeordnet ist, verursacht eine Torsionsverformungswelle, wenn der Stromimpuls und das Magnetfeld des Magneten zusammenwirken. Der Torsionsimpuls in dem Wellenleiter wird als eine Torsionsverformungswelle übertragen, die eine Periodendauer aufweist und die zur Lagerung des Wellenleiters zurückreflektiert wird. Die Verdrehungs- oder Torsionsbewegung wird durch einen Moden-Wandler erfaßt, der ein Ausgangssignal erzeugt, das Ausgangssignal der Reflexions-Verformungswelle wird verglichen mit der Startzeit des Stromimpulses, der die Torsionsverformungswelle verursacht, korreliert, um den Abstand vom Wandler zum Magneten zu bestimmen. Das Zeitintervall zwischen dem Anlegen des elektrischen Impulses und dem Empfang des Torsionsimpulses durch den Wandler zeigt die Position des Magneten an.

Das US-Patent 4,721,902 zeigt eine Geräusch-Unterdrückungsschaltung zur Verwendung in der im US-Patent 3,898,555 gezeigt

ten Art von Meßgrößenumformer, um die Erkennung des Reflexionsimpuls und die richtige Korrelation mit einem Stromimpuls sicherzustellen. Das Patent '902 zeigt die Probleme beim Versuch der Erhöhung des Reflexionssignalpegels vom Moden-Wandler auf, um das Verhältnis von Signal zu Interferenzrauschen von außen zu verbessern, und gibt an, daß es schwierig ist, die Amplitude des auf der Torsionsverformungswelle basierenden Moden-Wandler-Signals stärker als die Rauschamplitude zu erhöhen.

Die vorliegende Erfindung schafft eine einfache, lange gesuchte Lösung für das Problem der Erhöhung der Amplitude des durch den Moden-Wandler empfangenen Signals. Die Probleme von Signalen mit niedrigem Pegel sind weiterhin durch die große Länge der momentan verwendeten Wellenleiter zusammengesetzt. Gewöhnlich werden Wellenleiterlängen von etwa 7,5 m verwendet und Längen von etwa 18 - 24 m werden verwendet.

Zusammenfassung der Erfindung

Die vorliegende Erfindung bezieht sich auf die Verstärkung der Ausgangssignale von einem magnetostriktiven Verschiebungs-Meßgrößenumformer und zugleich auf die Schaffung eines sehr kompakten Anbringungskopf für einen Meßgrößenumformer. Magnetostriktive Verschiebungs-Meßgrößenumformer arbeiten nach dem Prinzip, daß, wenn ein Stromimpuls entlang des Wellenleiters übertragen wird und das durch den Strom erzeugte Feld auf das Magnetfeld eines beweglichen Magneten trifft, der Wellenleiter beginnt, sich in Torsion zu verdrehen, wodurch verursacht wird, daß eine Torsionsverformungswelle durch den Wellenleiter zurück zu seiner Lagerstelle übertragen wird. Diese Torsionsverformungswelle wird durch einen Moden-Wandler erfaßt, der die Torsionsbewegung in ein elektrisches Signal überträgt, das einen die Rückkehr der Torsionswelle anzeigenden Ausgangsimpuls erzeugt. Die Zeit zwischen dem Starten des Stromimpulses und der Rückkehr der Torsionswelle bezogen auf diesen Impuls

liefert eine sehr genaue Angabe des Abstands des Magneten von der Lagerstelle. Die Reflexion der Torsionswelle erzeugt einen Impuls oder Schwingungsbauch mit einer bestimmten Periodendauer, die die Zeit zwischen dessen Beginn in eine positiven Richtung und einem Rücküberqueren des Nullpunkts ist. Die Laufgeschwindigkeit der Torsionswelle in einem bestimmten Wellenleitermaterial kann bestimmt werden, und durch die Kenntnis der Periodendauer kann ebenfalls die durch die Torsionsverformungswelle während der Periodendauer des Signals zurückgelegte Strecke bestimmt werden.

Es ist wohlbekannt, daß die feste Anbringung des Wellenleiters bewirkt, daß reflektierte Signale von der Lagerstelle zurück zum Magneten reflektiert werden. Man hat herausgefunden, daß durch Platzieren des Anbringungspunktes so, daß die reflektierte Welle zum Reflexionssignal einer Torsionsverformungswelle beiträgt, ein verstärktes Amplituden-Reflexionssignal erzeugt wird. Weiterhin wird somit der Abstand des Anbringungsblocks von dem Moden-Wandler viel geringer gemacht als bei Standard-Meßgrößenumformer, und das gewünschte Ergebnis eines viel kompakteren Anbringungskopfes geliefert.

Ein weiteres Merkmal ist, daß keine Notwendigkeit des Dämpfens der Rückimpulse, die von dem Anbringungsblock für den Wellenleiter reflektiert werden, mehr besteht. Früher war zwischen dem Anbringungsblock des Wellenleiters und dem Wandler ein Dämpfer vorgesehen. Bei der vorliegenden Erfindung wird die reflektierte Welle zur Verstärkung derartiger Signale verwendet, anstatt sie in der Verantwortung oder in Interferenz zum Erhalten guter Reflexsignale zu halten.

Ein weiterer Vorteil ist, daß die gesamte Länge der Anbringungsplatte im wesentlichen verringert wird. Die Auswirkungen von Wärmeausdehnung und -schrumpfung, die eine Verschiebung der Verhältnisse zwischen dem Anbringungsblock, dem Moden-Wandler und dem Magneten verursachen können, die ausreicht, um

einen Fehler nach sich zu ziehen, werden ebenfalls verringert.

Somit schafft die vorliegende Erfindung einen magnetostriktiven Verschiebungs-Meßgrößenumformer, der einen kompakten Anbringungskopf aufweist und ein verstärktes Ausgangssignal erzeugt, ohne sich auf veränderte Elektronik oder Erfassungsvorrichtungen zu stützen.

Kurze Beschreibung der Zeichnungen

Es zeigt:

Fig. 1 eine schematische Seitenansicht eines erfindungsgemäßen magnetostriktiven Verschiebungs-Meßgrößenumformers mit einem kompakten Anbringungskopf;

Fig. 2 eine schematische Schnittansicht eines erfindungsgemäßen magnetostriktiven Meßgrößenumformers;

Fig. 3 eine Seitenansicht eines in der Vorrichtung gemäß Fig. 2 verwendeten Wellenleiter-Halters;

Fig. 4 eine vergrößerte Teil-Schnittansicht einer ersten Form eines erfindungsgemäßen Wellenleiters;

Fig. 5 eine zweite Form von Wellenleiter, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann;

Fig. 6 eine dritte Form von Wellenleiterkonstruktion, die bei der vorliegenden Erfindung verwendet werden kann;

Fig. 7A eine Skizze eines Signals, das von einem typischen magnetostriktiven Meßgrößenumformers gemäß dem Stand der Technik empfangen wird;

Fig. 7B eine Skizze eines Signals, das von einem Reflexions-

punkt oder Reflektor erhalten wird, der eine feste Anbringung des Basisendes des Wellenleiters aufweist;

Fig. 7C eine Skizze der Positionierung einer Welle, wie der in Fig. 7B gezeigten, um einen Abstand, der einer Periodendauer eines positiven Impulses des reflektierten Signals entspricht; und

Fig. 7D eine Darstellung der kombinierten Signale aus Fig. 7A und Fig. 7C, die das erfindungsgemäße Ausgangssignal liefern, wenn der Wellenleiter wie hierin offenbart angebracht ist.

Ausführliche Beschreibung der bevorzugten Ausführungsbeispiele

Ein Meßgrößenumformer, der einen kompakten Kopf aufweist und der gemäß der vorliegenden Erfindung hergestellt ist, ist im allgemeinen bei 10 dargestellt und wird zur Verschiebungsmessung verwendet. Der Meßgrößenumformer 10 weist ein bei 11 gezeigtes äußeres Schutzrohr oder eine verlängerte Abdeckung auf, das einen inneren Wellenleiter aufnimmt, wie aus den nachfolgenden Figuren detaillierter ersichtlich ist. Das Rohr 11 und sein innerer Wellenleiter sind in einem Anbringungskopf bei 12 an einem Basisende des Meßgrößenumformers abgestützt. Der Anbringungskopf 12 weist einen Anbringungsflansch 13 und einen Verbinder 14 zur Verbindung eines inneren Moden-Wandlers mit einer im allgemeinen bei 15 gezeigten elektronischen Schaltung einer Art auf, wie sie beim Stand der Technik beschrieben ist. Die elektronische Schaltung 15 wird zur Erzeugung von Ausgangssignalen verwendet, die die Verschiebung vom Bezugspunkt des kompakten Kopfes 12 zu einem schematisch dargestellten Magnetkopf 17 anzeigt, der über dem Schutzrohr 11 angeordnet ist. Der Magnetkopf 17 kann entlang der Länge des Rohres 11 verschoben werden. Der Magnetkopf 17 ist ein Dauermagnet und er ist, wie es gezeigt ist, ein Kreisring, der um das Rohr 11 herumpaßt, aber er kann auch andere gewünschte

Formen aufweisen.

Die Länge des Schutzrohres 11 und des darin abgestützten Wellenleiters kann beträchtlich sein, zum Beispiel sind 7,62 m (25 Fuß) üblich, und die Länge kann bis in den Bereich von 18,3 - 24,4 m (60 - 80 Fuß) gehen. Die Position des Magnetkopfes entlang dieses Wellenleiters und äußeren Rohres kann zum Beispiel den Pegel der Flüssigkeit in einem Behälter anzeigen, so daß der Flüssigkeitspegel genau erfaßt werden kann. Die Erfassung erfolgt durch magnetostriktive Prinzipien, wie sie wohlbekannt ist.

In Fig. 2 zeigt eine schematische Darstellung der Meßgrößenumformer-Anordnung 10 die Prinzipien der vorliegenden Erfindung. Der Kopf-Anbringungsflansch 13, der das Rohr 11 abstützt, ist im Querschnitt gezeigt, und auf der Innenseite des Rohres 11 befindet sich ein Wellenleiter 20, dessen äußeres oder entferntes Ende durch eine Verbindung 21 und eine Spannungsfeder 22 hindurch an einer Endplatte 23 am Rohr in dem Schutzrohr 11 befestigt ist, um den Wellenleiter unter einer gewissen mechanischen Spannung zu halten. Das Basisende des Wellenleiters am kompakten Kopf 12 ist in einem Anbringungsblock 25 gelagert. Der Wellenleiter ist am Anbringungsblock befestigt, z.B. durch Löten des Wellenleiters in den Block, so daß, wie noch erklärt wird, jegliche Torsionsimpulse oder jede Torsionsverformungswelle, die entlang des Wellenleiters übertragen werden, dann am Anbringungsblock 25 blockiert werden. Die Torsionsverformungswelle wird vom Anbringungsblock zum äußeren Ende des Rohres 11 hin reflektiert.

Der Block 25 ist auf eine geeignete Weise auf einer Endplatte oder einem Träger 26 angebracht, die/der wiederum am Flansch 13 befestigt ist. Der Flansch 13 wird zur Anbringung des Meßgrößenumformers in seiner gewünschten Position verwendet. Der Flansch 13 weist ebenfalls einen Anbringungsansatz 30 auf, in den das Schutzrohr 11 geschoben und in dem es fest angebracht

ist. Es ist ersichtlich, daß das Schutzrohr 11 den Wellenleiter 20 umgibt, und auf der Innenseite des Rohres 11 können geeignete Armkreuze oder andere Abstützungen verwendet werden, um den Wellenleiter 20 im allgemeinen in der Mitte des Rohres zu halten.

Die Verschiebung des Magnetkopfes 17 relativ zum Anbringungsträger 26 wird durch die Verwendung eines Moden-Wandlers 32 bestimmt oder gemessen. Wie es gezeigt ist, weist der Moden-Wandler zwei Abschnitte auf, einen auf jeder Seite des Wellenleiters, und er weist ein Paar Erfassungsbänder 32A auf, die mit dem Wellenleiter verbunden sind und die sich seitlich von dem Rohr erstrecken. Die Bänder bewegen sich in Richtung entlang der Bandlänge, quer zum Wellenleiter, wenn sich der Wellenleiter von einer Reflexions-Torsionsverformungswelle, die sich entlang des Wellenleiters zwischen den beiden Abschnitten des Moden-Wandlers bewegt, verdreht. Diese Bänder erzeugen dann ein Signal in Spulen, die sich innerhalb der Abschnitte des Moden-Wandlers befinden, um elektrische Ausgangssignale zu erzeugen, die den Lauf einer Torsionsverformungswelle entlang des Wellenleiters anzeigen.

Die elektronische Schaltung 15 weist einen Impulsgenerator 33 auf, der einen Stromimpuls durch den Wellenleiter hindurch, entlang einer Leitung 34 erzeugt, wobei eine Rückleitung 35 nur schematisch dargestellt ist. Eine Strom-Rückleitung wird, wie es wohlbekannt ist, bei allen Formen des Wellenleiters verwendet. Der Impulsgenerator erzeugt eine Folge von Stromimpulsen, von denen jeder zu Zeitsteuerungszwecken ebenfalls einer Signalverarbeitungs-Schaltung 37 zugeführt wird. Wenn der Stromimpuls den Wellenleiter hinab in Richtung vom Anbringungsblock 25 zum entfernten Ende des Wellenleiters bei der Verbindung 21 verläuft, erzeugt der Strom ein Feld, das durch den Wellenleiter verläuft, und wenn sich dieses Feld mit dem Magnetfeld vom Magnetkopf 17 schneidet, induziert es in den Wellenleiter nach bekannten Prinzipien eine Torsionslast und

erzeugt somit in dem Wellenleiter eine Torsionsverformungswelle. Die Verformungswelle ist eine Verdrehung des Wellenleiters, die durch den Wellenleiter hindurch zurück zum Anbringungsblock 25 übertragen wird. Wenn sich der Torsionsimpuls zwischen den Abschnitten des Moden-Wandlers 32 bewegt, erzeugt die Bewegung der Erfassungsbänder ein elektrisches Signal entlang der Leitung 40 zurück zur Signalverarbeitungs-Schaltung 37. Durch richtigen Vergleich der Startzeit eines bestimmten Stromimpulses und der Reflexionszeit des Schallimpulses der Torsionsverformungswelle erhält man den Abstand des Magnetkopfes von der Mittellinie des Moden-Wandlers als ein Ausgangssignal durch eine geeignete bei 42 gezeigte Schaltung.

Wie oben aufgeführt sind die Prinzipien wohlbekannt und die Schaltung ist ebenfalls wohlbekannt, wie es in den US-Patenten Nr. 3,898,555 und 4,721,902 gezeigt ist. Aufgrund der großen Längen der verwendeten Wellenleiter ist es jedoch selbst mit einer verbesserten Schaltung schwierig, die Reflexionssignale von äußeren Interferenzgeräuschen zu unterscheiden. Durch Bewegen der vorderen Oberfläche 25A des Anbringungsblocks 25, so daß sie im wesentlichen denselben Abstand wie eine Hälfte einer Signalbogenlänge einer Torsionsverformungswelle aufweist, wird das Signal am Moden-Wandler durch das reflektierte Signal verstärkt. In anderen Worten, der in Fig. 2 bei 43 gezeigte Abstand entspricht der Länge einer Hälfte eines Reflexions-Signalbogens.

Die Dauer eines Signalbogens des Ausgangssignals der Torsionsverformungswelle aus dem Moden-Wandler in einem magnetostriktiven Verschiebungs-Meßgrößenumformer der offenbarten Art wird durch die Dauer (Breite) der Stromimpulse vom Impulsgenerator 33 und durch die Geometrie (im Grunde die Breite) der Bandaufnahmespulen in dem Moden-Wandler 32 ebenso wie durch die Eigenschaften (im Grunde die Breite) des Magnetfeldes aus dem Magnetkopf 17 bestimmt. Die Magnetfeldeigenschaften werden durch die axiale Länge des Magneten und den Abstand des Magne-

ten relativ zum Wellenleiter bestimmt. Diese Parameter bleiben bei einer bestimmten Konstruktion fest und somit bleibt bei der Konstruktion die Dauer gleich.

Die Signalbogendauer kann experimentell bestimmt und auf einem Oszilloskop analysiert werden. Der Abstand oder die Länge eines Signalbogens zwischen Nullüberquerungen kann durch Kenntnis der Ausbreitungsgeschwindigkeit einer Torsionsverformungswelle in dem bestimmten gewählten Wellenleitermaterial berechnet werden.

Bei einem typischen Signalbogen mit einer Zeitdauer oder -periode von einer Mikrosekunde entspricht eine Hälfte davon $0,5 \mu\text{sec}$. Die Raumäquivalenz ist $0,5 \mu\text{sec} = 14 \text{ mm}$ ($0,55 \text{ In.}$), wobei $0,36 \mu\text{sec/mm}$ ($9,05 \mu\text{sec/Inch}$) die umgekehrte Ausbreitungsgeschwindigkeit der Torsionswellen in dem Wellenleitermaterial ist. Dies ist ein typisches Beispiel und somit erzielt man die Vorteile der vorliegenden Erfindung dadurch, daß man die Abmessung 43 mit 14 mm ($0,55 \text{ Inch}$) vorsieht.

Diese Signalverstärkung ist in den Fig. 7A bis 7D dargestellt. Fig. 7A zeigt eine Signalskizze 50 eines normalen Ausgangssignals von einem magnetostriktiven Meßgrößenumformer, wobei die Torsionswelle unter Verwendung von Moden-Wandlern, wie z.B. den bei der vorliegenden Erfindung verwendeten, erfaßt wird, aber wobei der Anbringungsblock für den Wellenleiter einen wesentlichen Abstand von den Wandlern weg beabstandet und ein Dämpfer auf den Wellenleiter zwischen dem Wandler und dem Wellenleiter-Anbringungsblock eingebracht ist. Derartige Dämpfer sind in dem US-Patent 3,898,555 erwähnt und gezeigt und werden zum Abschwächen oder Dämpfen reflektierter Wellen verwendet, damit diese nicht das Signal, das gerade vom Magnetkopf zurück zum Moden-Wandler übertragen wird, überlagern.

Fig. 7B zeigt eine Skizze 51 eines Signals, das von einem Reflektor erhalten wird, d.h. einem Anbringungsblock, der eine

die Abstütz-Grenzfläche umgebende Oberfläche aufweist, wobei der Wellenleiter vergleichsweise größer ist als der Wellenleiterquerschnitt, so daß er Verformungswellen reflektiert, die gleich und entgegengesetzt der auftreffenden oder zurückkommenden Welle sind.

Fig. 7C zeigt eine Skizze 52 derselben reflektierten Welle wie in Fig. 7B, die entlang der horizontalen Zeitskala um eine Signalebogendauer verschoben ist. Zur Schaffung einer Laufzeit einer Torsionswelle von der Moden-Wandler-Mittellinie zur Oberfläche 25A und dann zurück, wie es durch den Abstand 43 dargestellt ist, ist der Anbringungsblock 25 eine halbe Signalebogendauer versetzt, und die reflektierte Welle weist dann am Moden-Wandler die durch die Skizze 52 dargestellte Eigenschaft auf.

Fig. 7D zeigt eine kombinierte Signalskizze 53, bei der sich die Skizzen 50 und 52 überlagern. Dies zeigt, daß die kombinierte Signalskizze 53 einen viel höheren Amplitudenbogen aufweist, wodurch am Moden-Wandler 32 ein stärkeres Ausgangssignal erzeugt wird, ohne daß mit der Elektronik weiteres passiert. Es wird eine wesentliche Verbesserung der Fähigkeit zur Unterscheidung und Erkennung des Signals der reflektierten Torsionsverformungswelle gegenüber einem Rauschpegel erreicht, insbesondere bei Verwendung eines langen Wellenleiters und Empfang relativ schwacher Torsionsverformungswellen. Man erkennt, daß bei Verwendung der vorliegenden Anordnung die Signalamplitude im Bereich von 40 - 50 % erhöht werden kann. Der kürzere Anbringungsendträger oder -platte 26 und der kompakte Kopf, der sich aus der Lagerung des Anbringungsblocks 25 nahe am Moden-Wandler ergibt, sorgen aufgrund der verringerten Länge des Endträgers 26 relativ zum Flansch 13 für eine steifere Anbringungsanordnung. Der kürzere Endträger 26 kann, ohne zu versagen, breiteren Vibrationsfrequenzbereichen und Eingangssignalen mit größeren Vibrationsamplituden sowie größeren Stoßeinwirkungen standhalten.

Ein weiteres wichtiges Merkmal des kürzeren Endträgers 26 ist die Verringerung der Auswirkungen des Temperaturkoeffizienten der Endanordnung. Wenn die Temperatur ansteigt, dehnt sich der Endträger 26 vom Flansch 13 zu seinem gegenüberliegenden Ende hin in der Länge aus. Da die Endträger im allgemeinen aus Aluminium hergestellt sind, das einen wesentlich höheren Ausdehnungskoeffizienten (ungefähr dreimal so hoch) aufweist als die meisten Wellenleitermaterialien, verschiebt sich auch der Moden-Wandler 32 relativ zum Flansch, wodurch eine Verschiebung des Moden-Wandlers 32 relativ zum Magnetkopf 17 verursacht wird. Die geringere Länge des Endträgers 26 im Gegensatz gegenüber derjenigen, die benötigt wurde, wenn zwischen dem Moden-Wandler und dem Anbringungsblock zur Lagerung des Wellenleiters ein Dämpfer angebracht war, verringert drastisch die Auswirkung einer Ausdehnung der Konstruktion aufgrund von Temperaturerhöhungen.

Aus der vorliegenden Konstruktion ergeben sich wichtige Vorteile, einschließlich einer einfacheren Konstruktion, die aufgrund des Weglassens eines früher verwendeten Dämpfers angrenzend an den Anbringungsblock am Anbringungsende des Wellenleiters zu einer Verringerung der Kosten führt. Die körperlich kürzere Konstruktion des Meßgrößenumformerkopfes benötigt viel weniger Lagerungsraum, und, wie es oben erwähnt ist, verbessert die kürzere Endkonstruktion ebenfalls die Fähigkeit des Meßgrößenumformers, Stoß und Vibration standzuhalten, ebenso wie sie eine bessere Leistung hinsichtlich des Temperaturkoeffizienten schafft. Das durch die Verwendung der reflektierten Welle als einen Signalverstärker erhaltene stark verstärkte Torsionswellensignal ermöglicht einen Betrieb mit größeren Wellenleiterlängen und mit besserer Signalunterscheidung.

Fig. 4 zeigt eine typische Wellenleiterkonstruktion 20, die ein Wellenleiterrohr 55 und eine innere stromführende Leitung 56 aufweist, der vom Wellenleiterrohr isoliert ist. Dies ist die Konstruktion des im US-Patent Nr. 3,898,555 gezeigten Wel-

lenleiters. Fig. 5 zeigt einen alternativen Wellenleiter, bei dem ein Rohr 57 den stromführenden Leiter und den Träger für Torsionsverformungswellen bildet. In jedem der unterschiedlichen Wellenleiter sind Stromumkehrleitungen vorgesehen, und bei Verwendung des Rohres 57 umgibt der Magnetkopf das Rohr, um die Torsionsverformungswellen zu erzeugen, die zur Bestimmung der Verschiebung erfaßt werden.

Fig. 6 zeigt einen Wellenleiter 58 mit einem festen Leiter, der für den Wellenleiter 20 verwendet werden kann und der Stromimpulse führt und ebenso dafür sorgt, daß die Torsionsverformungswellen einen Abstand bestimmen.

ANSPRÜCHE

1. Ein Meßgrößenumformer (10) zur Verschiebungsmessung, der folgendes umfaßt: eine Wellenleitervorrichtung (20) für Torsionsverformungsimpulse, eine Abstützvorrichtung (11, 13, 26) für die Wellenleitervorrichtung (20), eine Vorrichtung (33) zum Anlegen periodischer, elektrischer Stromimpulse in einer Richtung entlang der Wellenleitervorrichtung (20) und eine in einer festen Position entlang der Wellenleitervorrichtung (20) befindliche Wandler Vorrichtung (32, 32A) zur Erzeugung eines elektrischen Signals ansprechend auf den Empfang eines Torsionsverformungswellen-Impulses in der Wellenleitervorrichtung (20), der durch durch einen Magneten (17) angrenzend an die Wellenleitervorrichtung (20) verursacht wird, wenn ein elektrischer Impuls angelegt wird und den Magneten (17) erreicht, wobei der Torsionsimpuls eine Signalausgabe erzeugt, die regelmäßig abwechselt und eine Periodendauer für einen Signalbogen oder -Schwungsbauch aufweist, g e k e n n z e i c h - n e t durch eine Anbringungs Vorrichtung (25) für ein Basisende der Wellenleitervorrichtung (20), die eine Reflexion des Torsionsimpulses zurück zu dem Magneten (17) verursacht, wobei sich die Anbringungs Vorrichtung (25) auf einer gegenüberliegenden Seite der Wandler Vorrichtung (32, 32A) vom Magneten (17) befindet und von der Wandler Vorrichtung (32, 32A) einen Abstand von im wesentlichen einer Hälfte des Abstandes der Laufstrecke eines Torsionsimpulses in der Wellenleitervorrichtung (20) während einer Schwingungsbauchperiode beabstandet ist.

2. Meßgrößenumformer nach Anspruch 1, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenleitervorrichtung (20) ein Rohr (55) und eine separate elektrischen Strom führende Leitung (56) aufweist, die innerhalb des Rohres (55) angebracht ist.

3. Meßgrößenumformer nach Anspruch 1, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenleitervorrichtung (20) ein Rohr (57) aufweist, das ebenfalls elektrische Stromimpulse leitet.

4. Meßgrößenumformer nach Anspruch 1, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß die Wellenleitervorrichtung (20) einen Voll-
draht-Wellenleiter aufweist, der ebenfalls die elektrischen Stromimpulse leitet.

5. Meßgrößenumformer nach Anspruch 1, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß die Wandlervorrichtung (32, 32A) und die Anbringungs-
vorrichtung (25) für die Wellenleitervorrichtung (20) auf einem Endträger (26) und einem Flansch (13) angebracht sind, um die Wellenleitervorrichtung (20), die Wandlervorrichtung (32, 32A) und die Anbringungs-
vorrichtung (25) für die Wellenleitervorrichtung (20) als eine Einheit abzustützen.

6. Meßgrößenumformer nach einem der vorhergehenden Ansprüche, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß er ein äußeres Schutzrohr (11) aufweist, das die Wellenleitervorrichtung (20) umgibt, wobei das Schutzrohr (11) an dem Träger (26) und Vorrichtungen (21, 22, 23) angebracht ist, die zwischen einem entfernten Ende der Wellenleitervorrichtung (20) und einem entfernten Ende des Schutzrohres (11) zur Aufrechterhaltung einer mechanischen Spannung in der Wellenleitervorrichtung (20) verbunden sind.

7. Meßgrößenumformer mit einem kompakten Kopf (12) für einen magnetostriktiven Meßgrößenumformer, der verwendet wird, um Verschiebungen eines Magneten (17) von einem in diesem Kopf (12) angebrachten Moden-Wandler (32, 32A) zu messen, der folgendes umfaßt: einen Wellenleiter (20), der eine Torsionsverformungswelle übertragen kann, einen angrenzend an den Wellenleiter (20) angebrachten Magneten (17), eine Vorrichtung (33) zur Erzeugung von Stromimpulsen entlang des Wellenleiters (20), der ein Feld aufweist, das sich mit dem Magnetfeld aus

dem Magneten (17) schneidet und in dem Wellenleiter (20) eine Torsionsverformungswelle verursacht, die einen Signalbogen oder Schwingungsbauch mit einer Periodendauer bildet, und die zu einem seiner Anbringungsenden zurückübertragen wird, einen Anbringungsblock (25), der das Anbringungsende des Wellenleiters (20) lagert und der so groß ist, daß er eine Reflexionsoberfläche (25A) für die Torsionsverformungswelle schafft, gekennzeichnet durch einen Moden-Wandler (32, 32A), der zwischen dem Magneten (17) und der Reflexionsoberfläche (25A) zur Umsetzung der Torsionsverformungswelle in ein elektrisches Signal angebracht ist, wobei die Reflexionsoberfläche (25A) von dem Moden-Wandler (32, 32A) einen Abstand beabstandet ist, der im wesentlichen dem Abstand entspricht, den eine Torsionsverformungswelle entlang der Wellenleitervorrichtung (20) während einer Zeit zurücklegt, die gleich einer Hälfte der Schwingungsbauch-Periodendauer ist.

8. Meßgrößenumformer nach Anspruch 7, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß er einen Endträger (26) aufweist, der den Moden-Wandler (32, 32A) und den Anbringungsblock (25) als eine gemeinsame Einheit in dem kompakten Kopf (12) anbringt.

9. Meßgrößenumformer nach Anspruch 7 oder Anspruch 8, weiterhin dadurch gekennzeichnet, daß er eine Schaltungsvorrichtung (37, 42) aufweist, die mit dem Moden-Wandler (32, 32A) verbunden ist, um eine Beziehung zwischen einem entlang des Wellenleiters (20) übertragenen Stromimpuls und einer durch den Wellenleiter (20) als Folge des Stromimpulses zurückgegebenen Torsionsverformungswelle anzuzeigen.

FIG. 1

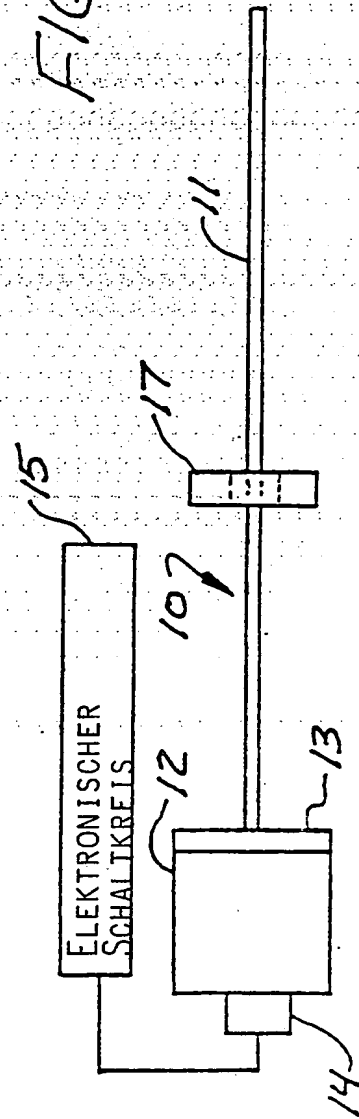


FIG. 3

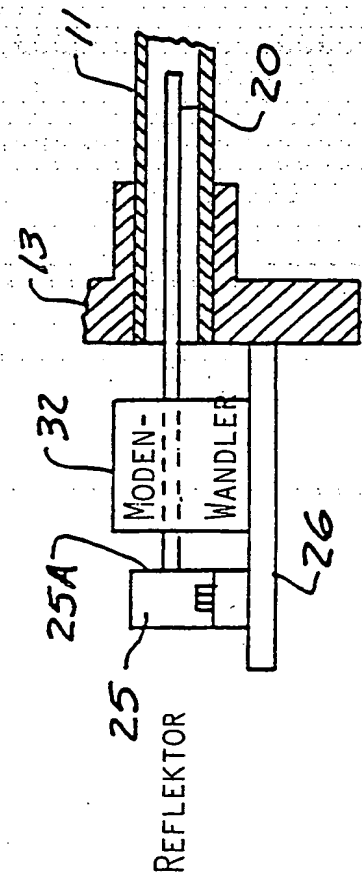


FIG. 2

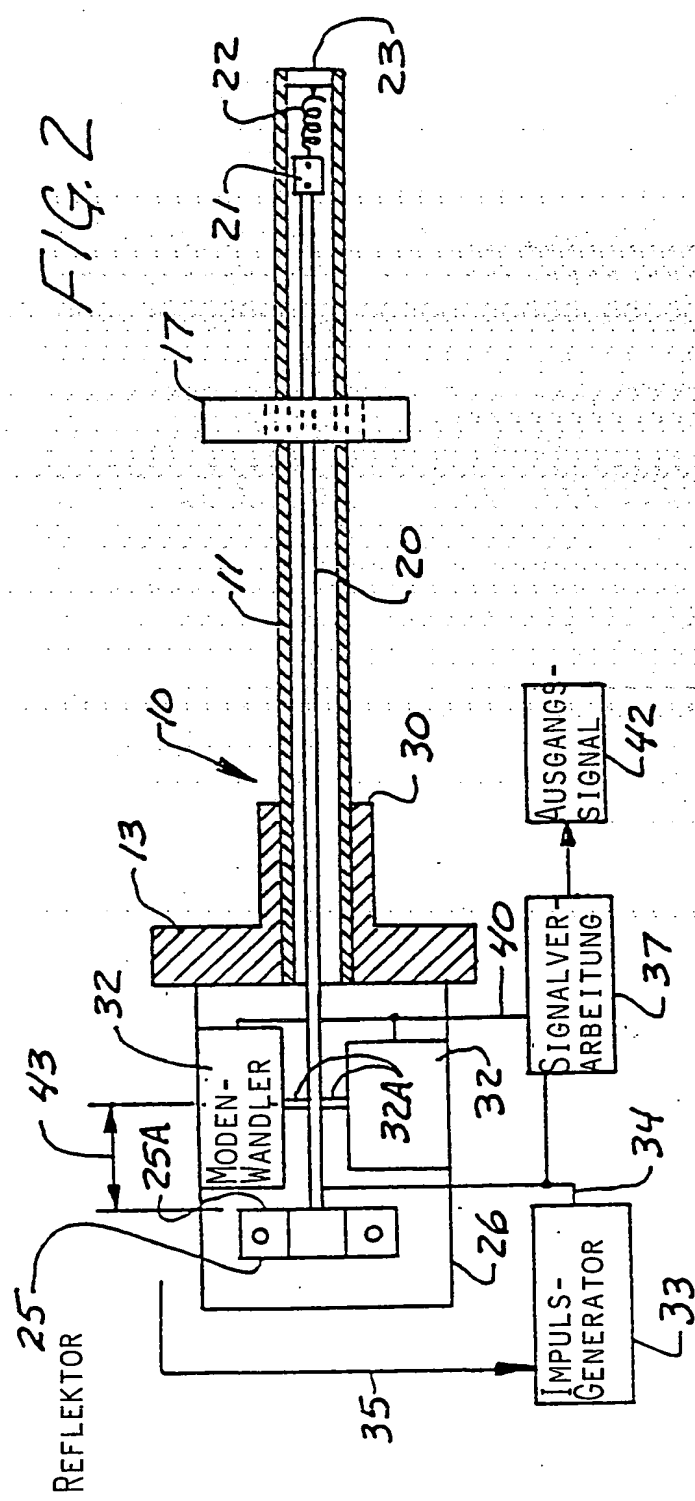


FIG. 4

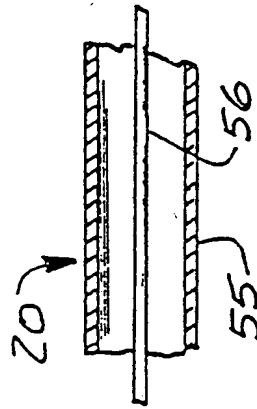


FIG. 5

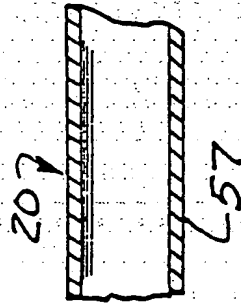
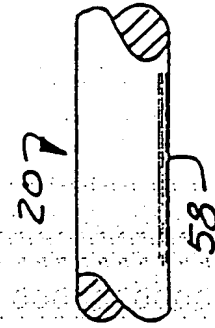


FIG. 6



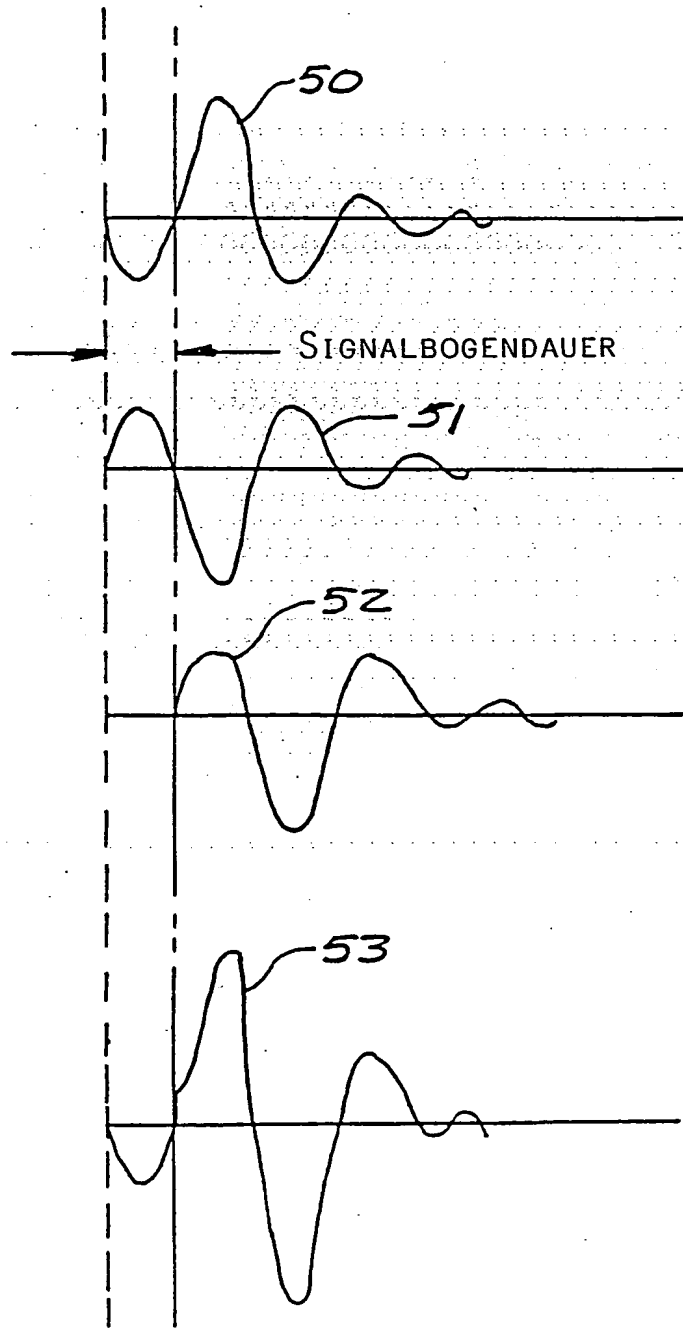


FIG. 7A

FIG. 7B

FIG. 7C

FIG. 7D

DESIGNATIONS OF "DE"

Until further notice, any designation of "DE" in any international application whose international filing date is prior to October 3, 1990, shall have effect in the territory of the Federal Republic of Germany with the exception of the territory of the former German Democratic Republic.

FOR THE PURPOSES OF INFORMATION ONLY

Codes used to identify States party to the PCT on the front pages of pamphlets publishing international applications under the PCT.

AT	Austria	ES	Spain	MC	Monaco
AU	Australia	FI	Finland	MG	Madagascar
BB	Barbados	FR	France	ML	Mali
BE	Belgium	GA	Gabon	MR	Mauritania
BF	Burkina Fasso	GB	United Kingdom	MW	Malawi
BG	Bulgaria	GR	Greece	NL	Netherlands
BJ	Benin	HU	Hungary	NO	Norway
BR	Brazil	IT	Italy	PL	Poland
CA	Canada	JP	Japan	RO	Romania
CF	Central African Republic	KP	Democratic People's Republic of Korea	SD	Sudan
CG	Congo	KR	Republic of Korea	SE	Sweden
CH	Switzerland	LI	Liechtenstein	SN	Senegal
CM	Cameroon	LK	Sri Lanka	SU	Soviet Union
DE	Germany	LU	Luxembourg	TD	Chad
DK	Denmark			TG	Togo
				US	United States of America

-1-

COMPACT HEAD, SIGNAL ENHANCING
MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCER
BACKGROUND OF THE INVENTION

1. Field of the Invention.

5 The present invention relates to linear distance measuring devices that have compact mounting heads and which provide enhanced output signals.

2. Description of the Prior Art.

10 U.S. Patent 3,898,555 issued to the present inventor shows a linear distance measuring device of the type described herein, which uses a sonic waveguide, and The waveguide is tubular with a wire running through the center. A current pulse is sent through the wire, and a magnet that is positioned adjacent to the waveguide
15 causes a torsional strain wave when the current pulse interacts with the magnetic field from the magnet. The torsional pulse in the waveguide is transmitted as a torsional strain wave that has a time period and which is reflected back to the waveguide mounting structure.
20 The twisting or torsional movement is sensed by a mode converter, which provides an output signal, the output signal of the return strain wave is correlated compared to the time of launch of the current pulse causing the torsional strain wave for determining the distance to
25 the magnet from the converter. The time interval between the application of the electrical pulse and the reception of the torsional pulse by the converter indicates the position of the magnet.

 U.S. Patent 4,721,902 shows a noise rejection
30 circuitry for use in the type of transducer shown in U.S. patent 3,898,555 to insure identifying the return pulse and correlating it properly to a current pulse. Patent '902 points out the problems of attempting to

-2-

raise the return signal level from the mode converter in order to improve the signal-to-external interference noise ratio and indicates that the amplitude of the mode converter signal based on the torsional strain wave is
5 difficult to raise higher than the noise amplitude.

The present invention provides a simple, long sought after solution to the problem of raising the amplitude of the signal received by the mode converter. The problems of low level signals are further compounded
10 by the long length of waveguides that are now being used. Waveguide lengths of 25 feet are commonly used and lengths of 60-80 feet are in use.

SUMMARY OF THE INVENTION

The present invention relates to enhancing the
15 output signals from a magnetostrictive displacement transducer and at the same time providing a very compact transducer mounting head. Magnetostrictive displacement transducers operate on the principle that when a current pulse is transmitted along the waveguide, and the field
20 generated by the current encounters the magnetic field of a movable magnet, the waveguide will tend to twist in torsion, causing a torsional strain wave to be transmitted by the waveguide back to its mounting. This torsional strain wave is sensed by a mode converter,
25 which transmits the torsional motion into an electrical signal providing an output pulse indicating a return of the torsional wave. The time between the launching of the current pulse and the return of the torsional wave related to that pulse provides a very accurate
30 indication of the distance that the magnet is from the mounting. The torsional wave return provides a pulse or lobe having a defined time period, which is the time between its commencement in a positive sense, and a

-3-

recrossing of the zero point. The speed of travel of the torsional wave in a particular waveguide material can be determined, and by knowing the time period, the distance traveled by the torsional strain wave during the time period of the signal can be also determined.

It is well known that the fixed mounting of the waveguide causes reflected signals to be reflected back from the mounting toward the magnet. It has been discovered that by placing the mounting point so that the reflected wave adds to the return signal of a torsional strain wave, an enhanced amplitude return signal will be provided. Further, the spacing of the mounting block from the mode converter is thus made much less than in standard transducers providing the desirable result of having a much more compact mounting head.

A further feature is that the need for damping the return pulses reflected from the mounting block for the waveguide is not necessary. Previously a damper was provided between the waveguide mounting block and the converter. In the present invention the reflected wave, rather than being considered a liability or interference for obtaining good return signals, is used for enhancing such signals.

A further benefit is that the overall mounting plate length is substantially reduced. The effects of thermal expansion and contraction, which can cause a shift in the relationships between the mounting block, the mode converter, and the magnet sufficient to result in some error are also reduced.

Thus, the present invention provides a magnetostrictive displacement transducer which has a compact mounting head and provides an enhanced output

-4-

signal without relying on changed electronics or sensing devices.

BRIEF DESCRIPTION OF THE DRAWINGS

5 Figure 1 is a schematic side view of a compact mounting head magnetostrictive displacement transducer made according to the present invention;

 Figure 2 is a schematic sectional view of a magnetostrictive transducer made according to the present invention;

10 Figure 3 is an end view of a waveguide retainer used in the device of figure 2;

 Figure 4 is an enlarged fragmentary sectional view of a first form of waveguide made according to the present invention;

15 Figure 5 is a second form of waveguide that can be used with the present invention;

 Figure 6 is a third form of waveguide construction which can be used with the present invention;

20 Figure 7A is a plot of a signal received from a typical prior art magnetostrictive transducer;

 Figure 7B is a plot of a signal that is obtained from a reflection point or reflector comprising a fixed mounting of the base end of the waveguide;

25 Figure 7C is a plot of the positioning of a wave such as that shown in Figure 7B by a distance equivalent to a time period of one positive pulse of the reflected signal; and

30 Figure 7D is a representation of the combined signals of Figure 7A and Figure 7C that provide the output signal of the present invention when the waveguide is mounted as taught herein.

DETAILED DESCRIPTION OF THE PREFERRED EMBODIMENTS

A transducer having a compact head and made according to the present invention is illustrated generally at 10 and is used for measuring displacement.

5 The transducer 10 comprises an outer protective tube or elongated cover indicated at 11 which houses an interior waveguide, as will be seen in greater detail in the subsequent figures. Tube 11 and its interior waveguide are supported in a mounting head at 12 at a base end of

10 the transducer. The mounting head 12 includes a mounting flange 13, and a connector 14 for connecting an interior mode converter to electronic circuitry indicated generally at 15, of a type which is described in the prior art. The electronic circuitry 15 is used

15 for providing output signals that will indicate the displacement from the reference point of the compact head 12 to a magnet head 17 which is shown schematically, placed over the protective tube 11. The magnet head 17 can be displaced along the length of the

20 tube 11. The magnet head 17 is a permanent magnet, and as shown, is an annulus that fits around the tube 11, but it can have other configurations as desired.

The length of the protective tube 11, and the waveguide supported therein, can be substantial, for

25 example, 25 feet is usual and, the length can go to in the range of 60-80 feet. The position of the magnet head along this waveguide and outer tube can indicate the level of the liquid in a tank, for example, so that the liquid level can be sensed accurately. The sensing

30 is carried out through magnetostrictive principles, as is well known.

In Figure 2, a schematic representation of the transducer assembly 10 illustrates the principles of the

-6-

present invention. The head mounting flange 13 which supports the tube 11 is shown in cross section, and on the interior of the tube 11 there is a waveguide 20, which has its outer or remote end anchored to the tube through a link 21, and a tension spring 22 to an end plate 23 in the protective tube 11 to maintain the waveguide under some tension. The base end of the waveguide at the compact head 12 is mounted in a mounting block 25. The waveguide is fixed mounting block, such as by soldering the waveguide into the block so that, as will be explained, any torsional pulses or torsional strain wave being transmitted along the waveguide will then be dead-ended at the mounting block 25. The torsional strain wave will be reflected from the mounting block toward the outer end of the tube 11.

The block 25 is mounted onto an end plate or bracket 26 in a suitable manner, which in turn is fixed to the flange 13. The flange 13 is used for mounting the transducer in its desired location. The flange 13 also has a mounting neck 30 into which the protective tube 11 is slipped and fixedly attached. It can be seen that the protective tube 11 surrounds the waveguide 20, and suitable spiders or other supports can be used on the interior of the tube 11 to keep the waveguide 20 generally centered in the tube.

The displacement of the magnetic head 17 relative to the mounting bracket 26 is determined or measured by utilizing a mode converter 32. As shown, the mode converter has two sections, one on each side of the waveguide, and comprises a pair of sensing tapes 32A that are connected to the waveguide and which extend laterally from the tube. The tapes move in direction along the tape length, transversely to the waveguide,

-7-

when the waveguide twists from a return torsional strain wave moving along the waveguide between the two sections of the mode converter. These tapes then provide a signal in coils that are within the mode converter sections to provide output electrical signals indicating passage of a torsional strain wave along the waveguide.

The electronic circuitry 15 includes a pulse generator 33 which provides a current pulse through the waveguide, along a line 34, with a return line 35 represented only schematically. A current return line is used in all forms of the waveguide, as is well known. The pulse generator provides a stream of current pulses, each of which is also provided to a signal processing circuit 37 for timing purposes. When the current pulse travels down the waveguide in direction from the mounting block 25 toward the remote end of the waveguide at link 21, the current provides a field passing through the waveguide and when this field intercepts the magnetic field from the magnet head 17, it will induce a torsional loading into the waveguide under known principles and thus provide a torsional strain wave pulse in the waveguide. The strain wave is a twisting of the waveguide which is transmitted through the waveguide back toward the mounting block 25. As the torsional pulse moves between the portions of the mode converter 32, the movement of the sensing tapes will generate an electrical signal along line 40 back to the signal processing circuit 37. By proper comparison of the time of start of a particular current pulse, and the time of return of the sonic torsional strain wave pulse, the distance of the magnet head from the mode converter center line will be obtained as an output signal through suitable circuitry indicated at 42.

-8-

The principles are well known, as previously stated, and the circuitry is also well known as shown in U.S. Patent Nos. 3,898,555 and 4,721,902. However, with the long lengths of waveguide being utilized, the return signals are hard to discriminate from external interference noise, even with advanced circuitry. By moving the leading or face surface 25A of the mounting block 25 to be substantially the same distance as one-half of a torsional strain wave signal lobe length the signal at the mode converter will be reinforced by the reflected signal. In other words, the distance that is indicated at 43 in figure 2 is equivalent to the length of one-half of a return signal lobe.

The period of a signal lobe of the torsional strain wave outlet signal from the mode converter in a magnetostrictive displacement transducer of the type disclosed is determined by the duration (width) of the current pulses from the pulse generator 33 and the geometry (basically the width) of the tape pickup coils in the mode converter 32, as well as the characteristics (basically the width) of the magnetic field from the magnet head 17. The magnetic field characteristics are determined by the axial length of the magnet and the clearance of the magnet relative to the waveguide. These parameters remain fixed for a given design and thus the period remains the same for the design.

The signal lobe period can be determined experimentally, and analyzed on an oscilloscope. The distance or length of a signal lobe between zero crossings can be calculated by knowing the velocity of propagation of a torsional strain wave in the particular waveguide material chosen.

-9-

For a typical signal lobe having a time duration or period of one microsecond, one-half of that is equal to .5 usec. The space equivalence is .5 usec = 0.55 in. where 9.05 usec./inch is the inverse of the velocity of propagation of the torsional waves in the waveguide material. This is a typical example, and thus by providing the dimension 43 as .055 inches, the benefits of the present invention will be achieved.

This signal enhancement is illustrated in Figures 7A through 7D. Figure 7A illustrates a signal plot 50 of a normal output from a magnetostrictive transducer, wherein the torsional wave is sensed using mode converters such as those used with the present invention, but wherein the mounting block for the waveguide is spaced a substantial distance away from the converters and a damper is put in onto the waveguide between the converter and the waveguide mounting block. Such dampers are mentioned and shown in U.S. Patent 3,898,555 and have been used in order to attenuate or dampen reflected waves so that they would not interfere with the signal that was being transmitted from the magnet head back toward the mode converter.

Figure 7B illustrates a plot 51 of a signal obtained from a reflector, that is a mounting block having a surface surrounding the support interface with the waveguide comparatively larger than the waveguide cross section so that it reflects strain waves which are equal and opposite of the impinging or return wave.

Figure 7C illustrates a plot 52 of that same reflected wave as in figure 7B displaced along the horizontal time scale by one lobe period. In order to provide a time of travel of a torsional wave from the mode converter center line to the surface 25A and then

-10-

back, as represented by the distance 43, the mounting block 25 is offset one-half lobe period, and the reflected wave then will have the characteristic shown by plot 52 at the mode converter.

5 Figure 7D shows a combined signal plot 53, which is the plots 50 and 52, superimposed. This shows that the combined signal plot 53 has a much higher amplitude lobe, providing a stronger output signal at mode converter 32 without doing anything further to the
10 electronics. A substantial improvement in the ability to discriminate and recognize the return torsional strain wave signal, as opposed to noise level is achieved, particularly where long lengths of waveguide are used and relatively weak torsional strain waves are
15 received. It can be seen that the amplitude of signal can be raised in the range of 40-50% utilizing the present arrangement. The shorter mounting end bracket or plate 26 and the compact head resulting from the mounting of the mounting block 25 close to the mode
20 converter provides for a more rigid mounting structure because of the reduced length of the end bracket 26 relative to the flange 13. The shorter end bracket 26 can withstand wider vibration frequencies, and larger vibration amplitude inputs, as well as greater shock
25 impacts without failure.

 A further important feature of the shorter end bracket 26 is the reduction of the temperature coefficient effects of the end structure. If the temperature increases, the end bracket 26 will expand in
30 length from the flange 13 toward its opposite end. Because the end brackets are generally made of aluminum, which has a substantially greater coefficient of expansion than most waveguide materials (approximately

-11-

three times as great) mode converter 32 will also shift relative to the flange, which will cause a shifting of the mode converter 32 relative to the magnet head 17. The shorter length of the end bracket 26 over that which
5 was necessary when a damper was interposed between the mode converter and the mounting block for mounting the waveguide drastically reduces the effect of structural expansion due to temperature increases.

Important advantages have been realized from
10 the present construction, including a simpler construction leading to reduced costs, because of the elimination of a previously used damper adjacent the mounting block at the mounting end of the waveguide. The physically shorter construction of the transducer
15 head requires much less mounting space, and as stated previously, the shorter end construction also improves the ability of the transducer to withstand shock and vibration, as well as providing a better temperature coefficient performance. The greatly enhanced torsional
20 wave signal that is obtained by utilizing the reflected wave as a signal enhancer permits operation at greater waveguide lengths and with better signal discrimination.

Figure 4 shows a typical construction for the waveguide 20, including a waveguide tube 55, and an
25 inner current carrying wire 56 that is insulated from the waveguide tube. This is the construction of waveguide that is shown in U.S. Patent No. 3,898,555. Figure 5 illustrates an alternative waveguide wherein a tube 57 forms the current carrying conductor and the
30 carrier for torsional strain waves. Current return lines are provided in each of the different waveguides, and when tube 57 is used, the magnet head surrounds the tube and to provide the torsional strain waves that are

-12-

sensed for determining displacement.

Figure 6 shows a solid conductor waveguide 58, which can be used for the waveguide 20, and which would carry current pulses, as well as providing for the
5 torsional strain waves to determine distance.

Although the present invention has been described with reference to preferred embodiments, workers skilled in the art will recognize that changes may be made in form and detail without departing from
10 the spirit and scope of the invention.

WHAT IS CLAIMED IS:

1. A transducer for measuring displacement comprising a torsional strain pulse waveguide means, support means for said waveguide means, means for applying periodic, electrical current pulses in direction along the waveguide means, and converter means located in a fixed position along the waveguide means for generating an electrical signal in response to the reception of a torsional strain wave pulse in the waveguide means caused by a magnet adjacent said waveguide means when an electrical pulse is applied and reaches the magnet, the torsional pulse providing a signal output that alternates and has a time period for a signal lobe, and means for mounting a base end of the waveguide means causing a reflection of the torsional pulse back toward the magnet, said means for mounting being on an opposite side of the converter means from the magnet and being spaced from the converter means a distance of substantially one-half of the distance of travel of a torsional pulse in the waveguide means during a signal lobe period.

2. The transducer of claim 1, wherein said waveguide means comprises a tube, and a separate electrical current carrying wire mounted within said tube.

3. The transducer of claim 1 wherein said waveguide means comprises a tube which also carries electrical current pulses.

4. The transducer of claim 1 wherein said waveguide means comprises a solid wire waveguide that also carries the electrical current pulse.

5. The transducer of claim 1 wherein said converter means and said means for mounting the

-14-

waveguide means are mounted onto a common end bracket, and a flange mounted to the end bracket for supporting the waveguide means, the converter means, and the means for mounting the waveguide means as a unit.

6. The transducer of claim 5, and an outer protective tube surrounding said waveguide means said protective tube being mounted to said flange, and means connected between a remote end of the waveguide means and a remote end of the protection tube for maintaining a tension in the waveguide means.

7. A compact head arrangement for a magnetostrictive transducer used for measuring displacements of a magnet from a mode converter mounted in said head, including a waveguide capable of transmitting a torsional strain wave, a magnet mounted adjacent said waveguide, means for providing current pulses along said waveguide having a field which intercepts the magnetic field from said magnet and cause a torsional strain wave in said waveguide that forms a signal lobe having a time period and which is transmitted back to a mounting end thereof, a mounting block mounting the mounting end of the waveguide and being of size to provide a torsional strain wave reflection surface, and converter means being mounted between the magnet and said reflection surface for converting the torsional strain wave into an electrical signal, said reflection surface being spaced from said converter means a distance substantially equivalent to the distance that a torsional strain wave travels along said waveguide means during a time equal to one-half of the signal lobe time period.

8. The transducer of claim 7 and an end bracket mounting said converter means and said mounting

-15-

block as a common unit in said compact head.

9. The transducer of claim 7, and circuit means connected to said mode converter means for indicating a relationship between a current pulse transmitted along the waveguide and a torsional strain wave returned by the waveguide as a result of said current pulse.

1/4

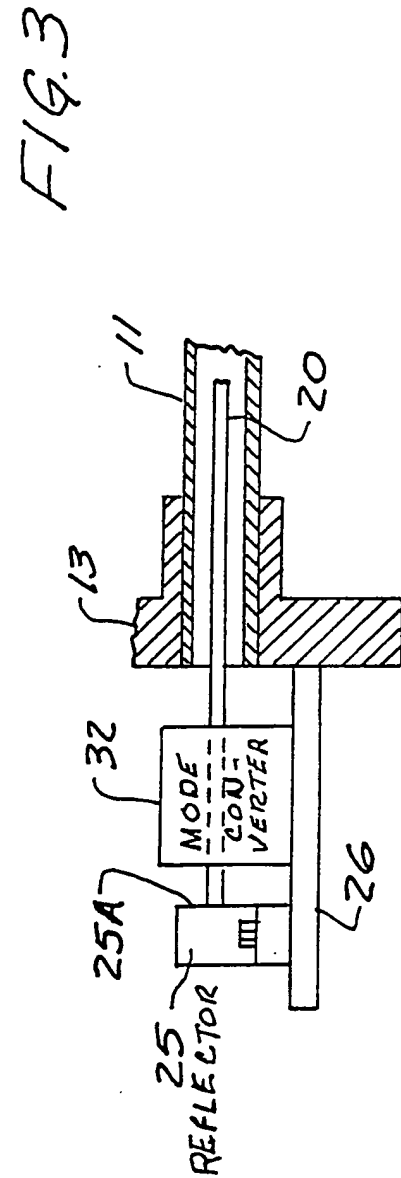
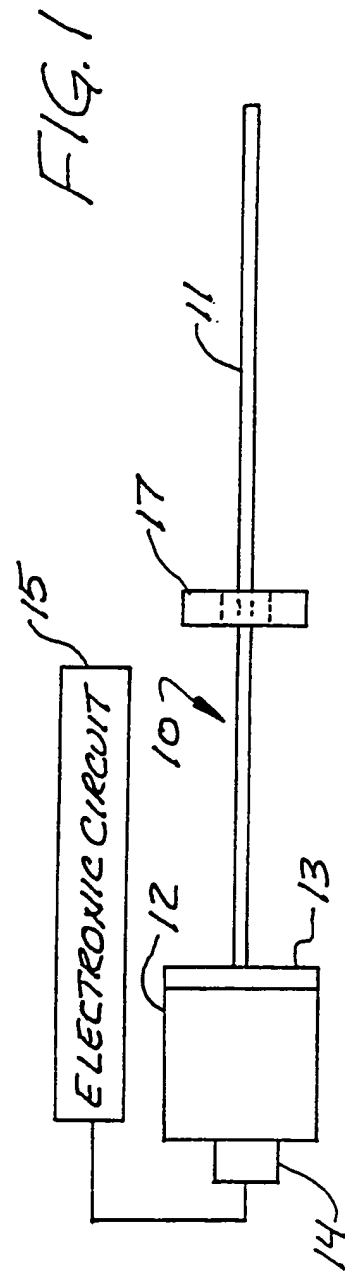


FIG. 6

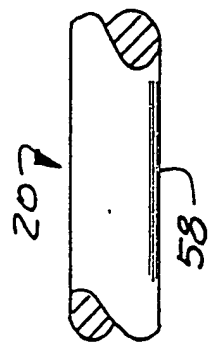


FIG. 5

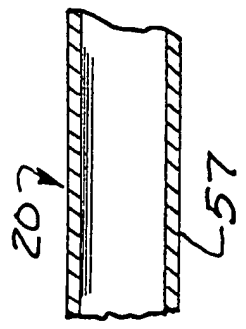
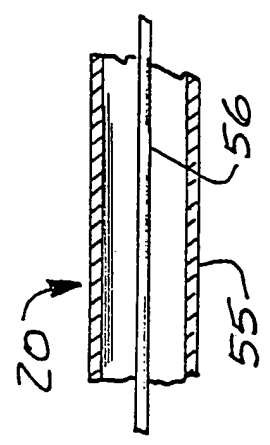


FIG. 4



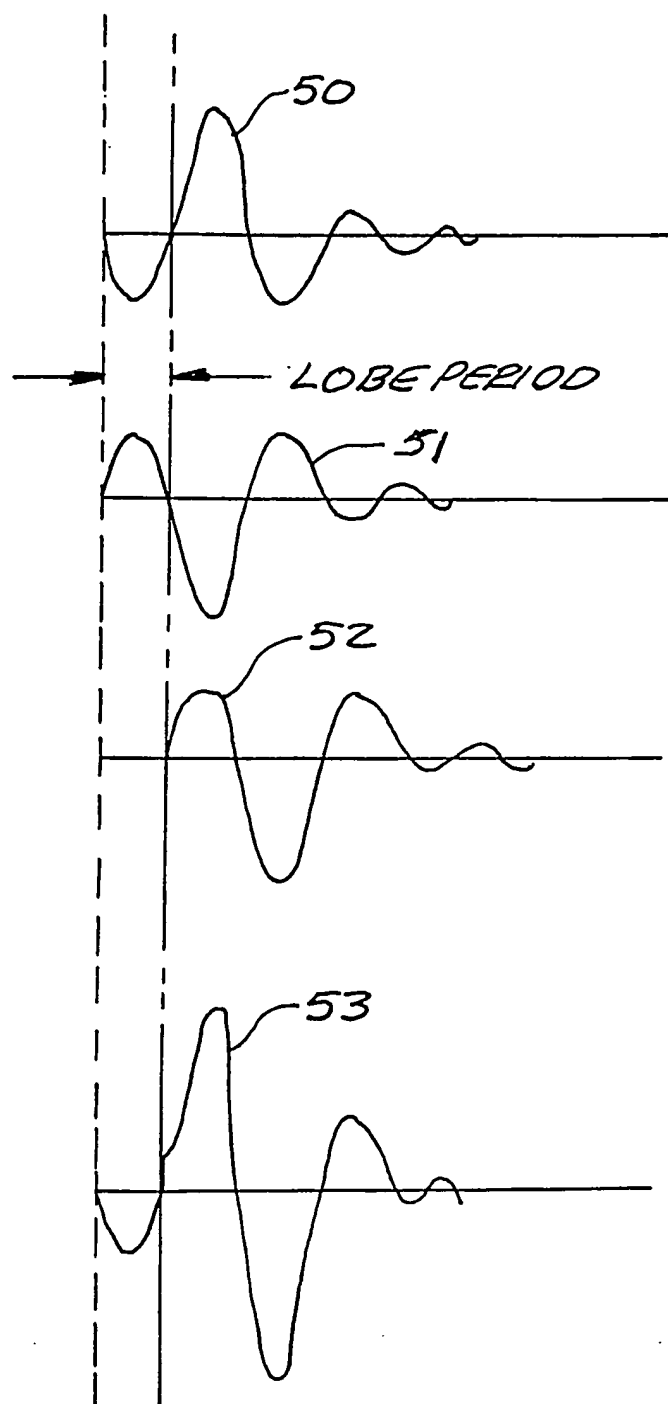


FIG. 7A

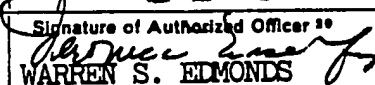
FIG. 7B

FIG. 7C

FIG. 7D

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No PCT/US90/04433

I. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER (If several classification symbols apply, indicate all) ³		
According to International Patent Classification (IPC) or to both National Classification and IPC IPC(5): G01B 7/26, G01F 23/30; US CL.: 324/207.130, 209 73/314 333/148		
II. FIELDS SEARCHED		
Minimum Documentation Searched ⁴		
Classification System	Classification Symbols	
US	324/207.130, 207.150, 207.240, 207.260, 209, 239, 262; 73/313, 314; 333/148	
Documentation Searched other than Minimum Documentation to the Extent that such Documents are Included in the Fields Searched ⁵		
III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT ¹⁴		
Category ⁶	Citation of Document, ¹⁰ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷	Relevant to Claim No. ¹⁸
A	US, A, 4,028,619 (EDWARDS) 07 June 1977, see entire document.	1-9
A	US, A, 4,071,818 (KRISST) 31 January 1978, see entire document.	1-9
A	US, A, 4,654,590 (KITAURA ET AL.) 31 March 1987, see entire document.	1-9
A	US, A, 4,803,427 (MASON ET AL.) 07 February 1989, see entire document.	1-9
A	US, A, 4,510,587 (SCHNEIDER) 09 April 1985, see entire document.	1-9
A	US, A, 4,305,283 (REDDING) 15 December 1981, see entire document.	1-9
<div style="display: flex; justify-content: space-between;"> <div style="width: 45%;"> <p>⁹ Special categories of cited documents: ¹⁶</p> <p>"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance</p> <p>"E" earlier document but published on or after the international filing date</p> <p>"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)</p> <p>"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means</p> <p>"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed</p> </div> <div style="width: 45%;"> <p>"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention</p> <p>"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step</p> <p>"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art.</p> <p>"&" document member of the same patent family</p> </div> </div>		
IV. CERTIFICATION		
Date of the Actual Completion of the International Search ¹		Date of Mailing of this International Search Report ²
06 SEPTEMBER 1990		11 FEB 1991
International Searching Authority ¹		Signature of Authorized Officer ²⁰
ISA/US		 WARREN S. EDMONDS

FURTHER INFORMATION CONTINUED FROM THE SECOND SHEET

A	US, A, 4,839,590 (KOSKI ET AL.) 13 June 1989, see entire document.	1-9
A	US, A, 4,678,993 (VINNEMANN ET AL.) 07 July 1987, see entire document.	1-9
A	US, A, 4,721,902 (TELLERMAN ET AL.) 26 January 1988, see entire document.	1-9

V. ☐ OBSERVATIONS WHERE CERTAIN CLAIMS WERE FOUND UNSEARCHABLE¹

This international search report has not been established in respect of certain claims under Article 17(2) (a) for the following reasons:

1. ☐ Claim numbers because they relate to subject matter¹ not required to be searched by this Authority, namely:

2. ☐ Claim numbers because they relate to parts of the international application that do not comply with the prescribed requirements to such an extent that no meaningful international search can be carried out¹, specifically:

3. ☐ Claim numbers because they are dependent claims not drafted in accordance with the second and third sentences of PCT Rule 6.4(a).

VI. ☐ OBSERVATIONS WHERE UNITY OF INVENTION IS LACKING²

This International Searching Authority found multiple inventions in this international application as follows:

1. ☐ As all required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers all searchable claims of the international application.
2. ☐ As only some of the required additional search fees were timely paid by the applicant, this international search report covers only those claims of the international application for which fees were paid, specifically claims:

3. ☐ No required additional search fees were timely paid by the applicant. Consequently, this international search report is restricted to the invention first mentioned in the claims; it is covered by claim numbers:

4. ☐ As all searchable claims could be searched without effort justifying an additional fee, the International Searching Authority did not invite payment of any additional fee.

Remark on Protest

- ☐ The additional search fees were accompanied by applicant's protest.
☐ No protest accompanied the payment of additional search fees.

III. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT (CONTINUED FROM THE SECOND SHEET)

Category *	Citation of Document, ¹⁶ with indication, where appropriate, of the relevant passages ¹⁷	Relevant to Claim No ¹⁸
A	US, A, 3,898,555 (TELLERMAN ET AL.) 05 August 1975, see entire document.	1-9